

Möglichkeiten des Kunststoffersatzes bei Defektfrakturen langer Röhrenknochen

untersucht an der Kaninchentibia

Jürgen Macheleidt

1973

Aus der Orthopädischen Klinik München

Direktor: Professor Dr. A. N. Witt

"Möglichkeiten des Kunststoffersatzes bei
Defektfrakturen langer Röhrenknochen
(untersucht an der Kaninchentibia)"

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

verfaßt und

einer Hohen Medizinischen Fakultät

der Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von

Jürgen M a c h e l e i d t

aus Schleswig

München 1973

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Priv. Doz. Dr. M. Jäger
Mitberichterstatter : Prof. Dr. A. N. Witt
Dekan : Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27. März 1973



DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitungs und Problemstellung.	4
B. Eigene Untersuchungen:	5
I. Operationstechnik der intramedullären Kunststoffeinspritzung mit Palacos.	7
II. Versorgung der Fraktur mit Defektbildung durch Anlegen einer Kunststoffmanschette	9
III. Anordnung zu Druckversuchen an der Kaninchentibia.	11
C. Diskussion	15
D. Zusammenfassung	18
E. Literaturverzeichnis	19

A. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die alloplastische Deckung deformierender Schädeldefekte (WORINGER, THOMALSKE und GÖHRING) und die Ausfüllung von Defekten in langen Röhrenknochen infolge Tumoren oder Metastasen (SCHEUBA) haben schon vor Jahren Eingang in die Therapie gefunden.

Demgegenüber wird das Leistungsvermögen von kaltpolymerisierenden Kunststoffen bei der Behandlung von Frakturen mit Defektbildung nur sehr zögernd genutzt.

Diese Arbeit untersucht gedanklich und experimentell die Anwendbarkeit des kaltpolymerisierenden Polymethacrylat-kunststoffes Palacos R (mit Röntgenkontrastmittel) zur Therapie von Frakturen mit Defektbildung.

B. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Die zum Themenkomplex gestellte Aufgabe war, in einer Serie von Tierversuchen die Möglichkeiten des Kunststoffersatzes bei Frakturen mit Defektbildung zu prüfen.

Für die Auswahl des zur Osteosynthese verwendeten Kunststoffes waren folgende Forderungen entscheidend:

1. Biologische Verträglichkeit, d.h. weder entzündliche, toxische noch allergische Reaktionen erzeugend und nicht karzinogen wirkend.
2. Als Osteosynthesematerial mit sofortiger Belastungsfähigkeit verwendbar.
3. Konstanz der Materialeigenschaften auch unter Einwirkung der Körperflüssigkeiten und -gewebe.
4. Zweckentsprechende Verarbeitbarkeit.

Der kaltpolymerisierende Polymethacrylat-Kunststoff Placos R (mit Röntgenkontrastmittel) der Firma Kulzer scheint diese Forderungen zur Zeit am besten zu erfüllen und wurde deshalb zu den Versuchen herangezogen. Es werden die sterilfiltrierte monomere Flüssigkeit und das gassterilisierte polymere Pulver geliefert. Durch Anmischen entsteht unter Entwicklung von Polymerisationswärme ein außerordentlich hartes Endprodukt. Diese Polymerisationswärme des Palacos ist als Nachteil anzusehen. OHNSORGE und KROESEN konnten 122°C im Zentrum einer 52,2 g schweren, aushärtenden Palacoskugel und 58°C - 72°C (OHNSORGE und GOEBEL) an der Grenze zwischen Palacos und Knochenkontaktgewebe nachweisen. LEHNARTZ gab 56°C als die Temperaturgrenze an, bei der die Körpereiwieße denaturiert und irreversibel geschädigt werden. Es kommt somit an der Kontaktfläche Palacos und Knochen zumindest temporär zu einer Thermonekrose der anliegenden Knochenschicht.

Hinsichtlich der Toxizität von Palacos kann endgültig noch nichts ausgesagt werden. Eine Auswanderung von Restmonomer aus der bereits ausgehärteten Palacosmasse wird im Moment noch diskutiert. Dieses Restmonomer könnte theoretisch eine gewisse Toxizität entfalten.

Die Tierversuche wurden ausnahmslos an der Kaninchentibia durchgeführt. Die statischen Verhältnisse an diesem Knochen lassen eher Scherkräfte als axial einwirkende Kräfte erwarten und scheinen deshalb zur kritischen Beurteilung von Osteosyntheseverfahren besonders gut geeignet. Insgesamt wurden an zwölf Tieren Frakturen mit Defektbildung versorgt; acht Osteosynthesen wurden nach dem Verfahren der intramedullären Kunststoffeinspritzung mit Palacos, vier durch Anlegen einer Palacosmanschette durchgeführt.

I. OPERATIONSTECHNIK DER INTRAMEDULLÄREN KUNSTSTOFFEINSPRITZUNG MIT PALACOS

1. Längsschnitt medial der Tibiakante, Aussägen eines 10-15 mm langen Teils aus der Mitte der Tibia.
2. Ausräumen der Markhöhle bis in 20 mm Tiefe.
3. Aufziehen eines randständig sitzenden PVC-Schlauches auf die Tibiafragmente und Einschneiden eines Loches über dem Defekt.
4. Einspritzen von Palacos, Reposition der Fragmente, Ableiten der Polymerisationswärme durch Berieseln mit kalter Tyrodelösung.
5. Abnahme des PVC-Schlauches und Glättung der Plastik.

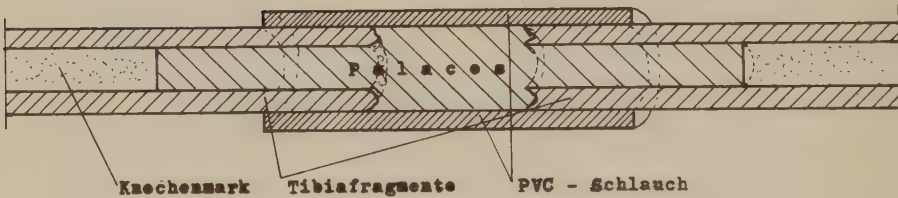


Abb. 1: Schnitt durch eine mit intramedullärer Kunststoffeinspritzung versorgten Fraktur mit Defektbildung.

Nach diesem Verfahren wurden acht Osteosynthesen an Kaninchen zur Versorgung von Frakturen mit Defektbildung bis maximal 15 mm durchgeführt.

Röntgenologisch zeigten sieben Plastiken postoperativ eine gute Füllung der Markhöhlen. Die Untersuchung des Sektionsmaterials schloß den Verdacht auf blasige oder

nicht ausreichend randständige Füllung der Markräume aus. Bei einem Kaninchen war schon unmittelbar nach der Operation keine ausreichende Festigkeit der Fraktur gegeben; am Sektionsmaterial zeigte sich in diesem Fall eine blässige und unvollständige Verteilung des Kunststoffes in den Markräumen. Die Osteosynthesen der anderen sieben Versuchstiere waren postoperativ fest.

Die äußere Schienung wurde nach drei Tagen abgenommen. Unmittelbar anschließend zeigten sich bei zwei Tieren neue Frakturen. Bei den noch verbliebenen fünf Versuchstieren trat nach anfänglich normalem Gebrauch der Extremität eine neue Fraktur bis zum dritten Tag nach der Abnahme der äußeren Schienung ein. Alle Versuchstiere erlitten also innerhalb von sechs Tagen nach dem Osteosyntheseversuch eine neue Fraktur.

Die Sektion der Tiere zeigte, daß eine neue Fraktur ohne Ausnahme durch Aufsprennung der Kortikalis im distalen Tibiabereich eintrat. Die injizierte Kunststoffmasse zeigte sich stets unversehrt (siehe Abbildung 2). Anzeichen für eine Infektion waren bei keinem Versuchstier zu beobachten.

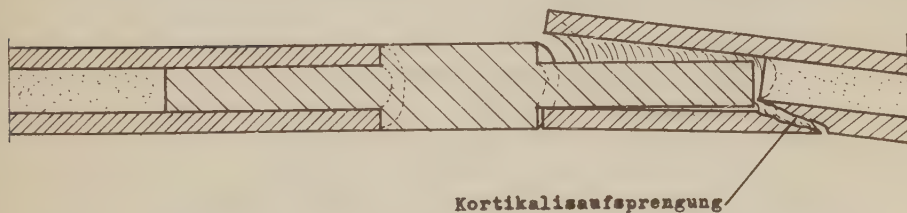


Abb. 2: Neue Fraktur nach Versorgung einer Fraktur durch intramedulläre Kunststoffeinspritzung.

II. VERSORGUNG DER FRAKTUR MIT DEFEKTBILDUNG DURCH ANLEGEN EINER KUNSTSTOFFMANSCHETTE

- 1.-3.: Siehe Operationstechnik der intramedullären Kunststoffeinspritzung mit Palacos.
4. Einlegen einer Polyäthylenfolie zwischen Weichteile und Tibiafragmente.
5. Einstreichen des Kunststoffes in den Defekt; festziehen der Polyäthylenfolie, bis beide Fragmente von einer 30 mm langen und 3-4 mm dicken Kunststoffmanschette bedeckt werden.
6. Achsengerechte Reposition der Fragmente; Rekonstruktion der ehemaligen Länge der Tibia.
7. Ableiten der Polymerisationswärme durch Berieseln mit kalter Tyrodelösung.
8. Entfernung der Polyäthylenfolie; Glättung der Plastik.

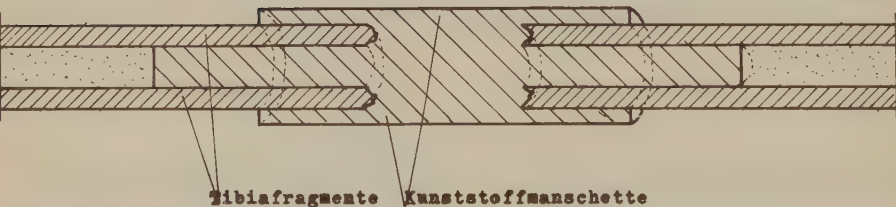


Abb. 3: Schnitt durch eine Fraktur mit Defektbildung, die durch Ausfüllen des Defektes und Anlegen einer Kunststoffmanschette versorgt wurde.

Durch Anlegen einer Kunststoffmanschette wurden insgesamt vier Frakturen mit Defektbildung versorgt. In den ersten Tagen nach der Operation zeigten alle Manschetten im einzusehenden Bereich klinisch und röntgenologisch eine gute Randständigkeit zu den umfaßten Tibiateilen.

Die Osteosynthesen zeigten sich gut belastungsfähig und die operierten Extremitäten wurden von den Versuchstieren normal gebraucht. Die neue Fraktur trat bei allen Versuchstieren an den so versorgten Extremitäten auf und zwar am 3., 4., 7. und 12. Tag nach der Operation.

Die Sektion der Tiere zeigte, daß die neue Fraktur vor allem durch das Einreißen der dünneren rückwärtigen Manschettenwand eintrat, wobei ein Tibiafragment aus der im belastbaren Querschnitt nur noch u-förmigen Manschette herausgehebelt wurde.

Eine Beteiligung der Tibiakortikalis an der neuen Fraktur konnte in entscheidendem Ausmaß nicht beobachtet werden.

Infektionen wurden keine festgestellt.

III. ANORDNUNG ZU DRUCKVERSUCHEN AN DER KANINCHENTIBIA

Diese Versuchsreihe wurde am Materialprüfungsamt für Maschinenbau der Technischen Hochschule München durchgeführt. Für die Versuchsreihe stand eine Zug- und Druckmaschine der Firma Mohr und Federhaff (Mannheim) zur Verfügung. Die Prüfmaschine weist Meßbereiche von 2 000, 1 000, 400 und 200 kp auf. Für die Druckversuche wurde der kleinste Meßbereich gewählt.

Für diese neue Versuchsreihe wurden Tibiae von Kaninchen entnommen, die ein durchschnittliches Gewicht von 4 kg hatten. Die Knochen wurden bis zur Durchführung der Druckversuche in physiologischer Kochsalzlösung mit Formalinzusatz aufbewahrt.

1. Druckversuche an der unversehrten Kaninchentibia:

Die Kaninchentibien werden vermessen und entsprechend ihrer anatomischen Situation im Kaninchenhinterlauf mit plan aufliegenden Palavit-Kunststoffblöcken am proximalen und distalen Ende gesockelt. Die Kunststoffblöcke umfassen die Enden der Tibiae auf 10 mm Länge und sichern diese während der Druckeinwirkung gegen Verdrehungen. Zur Rekonstruktion der ursprünglichen Länge des Knochens werden beide Kunststoffblöcke mit einer Meßkerbe versehen.

Die Prüfmaschine arbeitet wie folgt:

Nach Auflegen des Prüfkörpers auf den Meßtisch wird der Druckmesser auf 0 einjustiert. Der Meßtisch kann mit stufenlos regelbarer Geschwindigkeit gegen ein starres Widerlager vorgefahren werden. Für die Druckversuche wurde die Maximalgeschwindigkeit der Prüfmaschine gewählt.

Um den Druck nicht punktförmig, sondern betragsgleich über eine Strecke auf die Kaninchentibia einwirken zu lassen, wurde ein Widerlager folgender Form konstruiert (siehe Abb. 4). Der Druck, der schließlich zur Fraktur der Kaninchentibia führt, wird durch einen zweiten, die Maximalausschläge der Maschine registrierenden Zeiger, ablesbar.

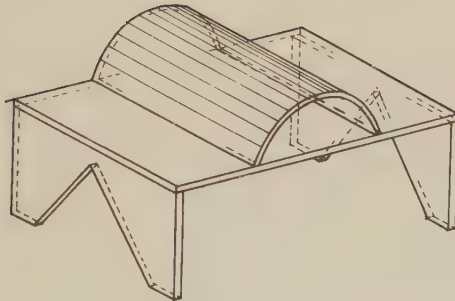


Abb. 4: Widerlager zu den Druckversuchen

2. Druckversuche an der versorgten Kaninchentibia nach einer Fraktur mit Defektbildung.

Die im Druckversuch an der unversehrten Kaninchentibia gewonnenen Fragmente wurden an den Bruchflächen begradigt und soweit gekürzt, bis ein Defekt von 10-15 mm resultierte. Die Fragmente wurden achsengerecht eingestellt, die ursprüngliche Länge der Tibia mit den Meßkerben rekonstruiert. Dann wurde die Osteosynthese mit dem Verfahren der intramedullären Kunststoffeinspritzung oder durch Anlegen einer Manschette durchgeführt und zwar bei je 15 Knochen. Anschließend wurden die so versorgten Kaninchentibien dem oben geschilderten Druckversuch erneut ausgesetzt.

Ergebnisse:

1. Gemessen wurden die Grenzwerte der Druckfestigkeit der unversehrten Kaninchentibia (Grenzwert 1) und die, der durch intramedulläre Kunststoffeinspritzung versorgten Tibia (Grenzwert 2).

Beide Grenzwerte wurden an ein und derselben Tibia gemessen.

Durchmesser	Länge	Grenzwert 1	Grenzwert 2
0,73 cm	12,2 cm	30,2 kp	6,1 kp
0,77 cm	12,2 cm	28,3 kp	4,5 kp
0,77 cm	11,9 cm	29,1 kp	5,3 kp
0,76 cm	11,8 cm	29,4 kp	5,5 kp

Durchmesser	Länge	Grenzwert 1	Grenzwert 2
0,72 cm	11,9 cm	37,5 kp	6,8 kp
0,74 cm	11,8 cm	26,5 kp	5,5 kp
0,78 cm	11,8 cm	30,5 kp	5,7 kp
0,77 cm	11,8 cm	32,0 kp	6,7 kp
0,75 cm	12,0 cm	29,3 kp	5,8 kp
0,73 cm	11,9 cm	30,1 kp	6,1 kp
0,73 cm	12,0 cm	33,3 kp	5,8 kp
0,75 cm	11,8 cm	28,7 kp	4,9 kp
0,77 cm	12,0 cm	30,4 kp	6,0 kp
0,78 cm	12,1 cm	32,2 kp	4,8 kp

Das den Druckversuchen ausgesetzte Knochenmaterial zeigte bei einem mittleren Durchmesser von 0,75 cm eine mittlere Länge von 11,9 cm.

Die Druckversuche ergaben eine mittlere Druckfestigkeit unversehrter Kanincentibien von 30,6 kp bei einem Minimumwert von 26,5 kp und einem Maximumwert von 37,5 kp. Eine Abhängigkeit von Durchmesser und Länge der Kanincentibia einerseits zur Druckfestigkeit andererseits konnte nicht festgestellt werden. Mit der im Modellversuch optimal durchführbaren intramedullären Kunststoffeinspritzung konnte eine mittlere Bruchfestigkeit von 5,8 kp bei einem Maximumwert von 7,3 kp und einem Minimumwert von 4,5 kp festgestellt werden.

Eine neue Fraktur trat immer im Bereich der Osteosynthese auf. Sie entsprach der im Tierversuch gefundenen Frakturform (siehe Abb. 2) völlig.

2. Gemessen wurden die Grenzwerte der Druckfestigkeit der unversehrten Kanincentibia (Grenzwert 1) und die, der durch Anlegen einer Kunststoffmanschette versorgten Tibia (Grenzwert 2).

Beide Grenzwerte wurden an ein und derselben Tibia gemessen.

Durchmesser	Länge	Grenzwert 1	Grenzwert 2
0,77 cm	11,8 cm	29,4 kp	26,0 kp
0,75 cm	11,7 cm	30,6 kp	22,3 kp
0,72 cm	12,1 cm	36,5 kp	25,4 kp
0,73 cm	11,9 cm	27,9 kp	20,2 kp
0,78 cm	12,2 cm	29,5 kp	24,5 kp
0,77 cm	11,7 cm	28,6 kp	23,1 kp
0,80 cm	11,8 cm	30,6 kp	25,7 kp
0,75 cm	11,7 cm	30,4 kp	22,8 kp
0,78 cm	11,9 cm	29,3 kp	26,0 kp
0,74 cm	12,0 cm	27,8 kp	21,4 kp
0,78 cm	11,7 cm	26,9 kp	23,9 kp
0,76 cm	11,9 cm	32,5 kp	25,8 kp
0,79 cm	12,0 cm	28,9 kp	24,8 kp
0,76 cm	12,1 cm	30,9 kp	21,7 kp
0,73 cm	11,8 cm	31,6 kp	25,0 kp

Das den Druckversuchen ausgesetzte Knochenmaterial hatte bei einem mittleren Durchmesser von 0,75 cm eine mittlere Länge von 11,9 cm.

Die Versuche erbrachten eine mittlere Druckfestigkeit unversehrter Kaninchentibien von 30,1 kp bei einem Minimumwert von 26,9 kp und einem Maximumwert von 36,5 kp. Im Gegensatz zum vorausgegangenen Tierversuch konnte die Kunststoffmanschette ideal angeformt werden. Als mittlere Druckfestigkeit der durch Kunststoffmanschetten versorgten Kaninchentibien konnte bei einem Minimumwert von 20,2 kp und einem Maximumwert 26,0 kp noch 23,9 kp erreicht werden.

Eine neue Fraktur trat stets am Übergang Manschette - Kaninchentibia auf, wobei die Manschette immer unversehrt blieb.

C. DISKUSSION

Mit dem Verfahren der intramedullären Kunststoffeinspritzung wurden acht Frakturen mit Defektbildung an der Kaninchentibia versorgt. Bei einem Tier zeigte sich schon unmittelbar nach der Operation kein zufriedenstellendes Ergebnis, zwei Tiere hatten am dritten Tag nach der Operation neue Frakturen, bei den übrigen Tieren trat eine neue Fraktur bis zum sechsten Tag nach der Osteosynthese auf. Diese neue Fraktur erfolgte durch Aufsprengung der Kortikalis am Übergang Palacos-Kaninchentibia.

Mit Druckversuchen an der isolierten, durch intramedulläre Kunststoffeinspritzung versorgten Kaninchentibia konnten im Modellversuch durchschnittlich 19 % der Druckfestigkeit der unversehrten Kaninchentibia erreicht werden. Dieses Ergebnis erklärt die Mißerfolge der intramedullären Kunststoffeinspritzungen, wie sie sich in vivo bereits abzeichneten.

Mit Kunststoffmanschetten wurden insgesamt vier Frakturen mit Defektbildung versorgt. Neue Frakturen wurden beobachtet am 3., 4., 7. und 12. Tag nach der Operation, also bei allen so versorgten Versuchstieren. Die neue Fraktur erfolgte durch Einreißen der zu dünn geratenen rückwärtigen Manschettenwand, wobei ein Tibiafragment aus der im Querschnitt nur noch u-förmigen Manschette herausgehoben wurde. Die rückwärtige Manschettenwand wurde durch den Druck der Muskulatur gegen die noch plastische Manschette in ihrem Durchmesser auf weniger als 1 mm reduziert. Die Tibiakortikalis selbst war an der neuen Fraktur nicht beteiligt.

Mit Druckversuchen an der isolierten, durch eine Kunststoffmanschette versorgten Kaninchentibia konnten im Modellversuch durchschnittlich 78 % der Druckfestigkeit der unversehrten Kaninchentibia erreicht werden. Dieses Resultat bestätigt die vergleichsweise besseren Ergebnisse der Manschettenmethode in vivo.

Der Vergleich mechanischer Aspekte der beiden Osteosynthese-

verfahren wirft die Frage nach der Ursache für die höhere Druckfestigkeit der Osteosynthese durch Anlegen einer Kunststoffmanschette, gegenüber der Osteosynthese durch intramedulläre Kunststoffeinspritzung, auf. Von den vielen Gründen, die dafür verantwortlich sind, sei der Hauptgrund herausgegriffen: die höhere Stabilität der Osteosynthese durch Anlegen einer Kunststoffmanschette liegt beim Druckversuch in dem viel größeren Querschnitt der Manschette, gegenüber dem Querschnitt des Markbolzens, begründet.

Für den Vergleich der biologischen Momente der beiden Verfahren, d.h. hinsichtlich der periostalen und endostalen Kallusbildung, können zutreffende Angaben nicht gemacht werden, da die Versuche im Höchstfall über 12 Tage liefen, ein belastungsfähiger Kallus an der Kaninchentibia aber erst nach drei bis vier Wochen (NIGST) aufgebaut wird. Trotzdem könnte erwartet werden, daß wenigstens die intramedulläre Kunststoffeinspritzung eine periostale Kallusbildung ermöglicht - bei der Osteosynthese mit Kunststoffmanschette wird diese sicherlich nicht stattfinden. Die endostale Kallusbildung wird bei beiden Osteosyntheseverfahren nicht zu erwarten sein. Die Unterbindung der endostalen Kallusbildung bei der intramedullären Kunststoffeinspritzung und die Unterbindung der gesamten endostalen und periostalen Kallusbildung im anderen Fall müssen als so schwerwiegender Nachteil dieser Verfahren aufgefaßt werden, daß beide Verfahren zur Definitivversorgung weitgehend abgelehnt werden müssen.

Als einzige Möglichkeit ist die Kunststoffinjektion im Zusammenhang mit Schrauben- und Plattenfixation an osteoporotischen Röhrenknochen älterer Patienten und bei pathologischen Frakturen infolge von Tumoren oder Metastasen denkbar. Durch das Ausfüllen der Markhöhle langer Röhrenknochen mit Kunststoff entsteht ein solider Verbundbau mit dem osteoporotischen Knochen. Es ließen sich dann die Schrauben zur Plattenfixation besser verankern. Damit wäre wenigstens bei alten Patienten

mit Frakturen hochporotischer Knochen und in desesperaten Fällen mit pathologischen Frakturen infolge Tumoren oder Metastasen bei ohnehin zeitlich verminderter Lebenserwartung eine gewisse Überbrückungsmöglichkeit gegeben.

D. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dieser Arbeit wurde die Anwendbarkeit des Kunststoffes Palacos R bei der Versorgung von Frakturen mit Defektbildung an der Kaninchentibia experimentell untersucht.

Mit dem Verfahren der intramedullären Kunststoffeinspritzung konnten im Modellversuch nur durchschnittlich 19 % der Druckstabilität der unversehrten Kaninchentibia erreicht werden.

Durch Anlegen einer Palacosmanschette konnten im Modellversuch durchschnittlich 78 % der ursprünglichen Druckstabilität erreicht werden.

Trotz der höheren Druckstabilität, die im Modellversuch durch Anlegen einer Palacosmanschette erzielt wurde, ist im Moment aus angegebenen Gründen an eine Anwendung dieser Methode weder in der allgemeinen Frakturenbehandlung, noch im speziellen bei der Behandlung von Frakturen mit Defektbildung, zu denken.

Eine gewisse Bedeutung kommt der Palacosinjektion eventuell im Zusammenhang mit Platten- und Schraubenfixation bei Frakturen im Bereich osteoporotischer Röhrenknochen alter Patienten und bei pathologischen Frakturen zu, die infolge von Knochentumoren und Metastasen entstehen.

E. . L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- BIRCHER, J. Erfahrungen mit Araldit im Tierexperiment.
NIGST, H. Langenbecks Arch. klin. Chir.
304, 930-934, 1963
- GÖHRING, K. Beitrag zur alloplastischen Deckung von
Schädeldefekten mit einem autopolymeri-
sierenden Kunststoff. Med. Klinik 55,
1020-1023, 1960
- OHNSORGE, J. Oberflächentemperaturen des abhärtenden
GOEBEL, G. Knochenzementes Palacos beim Verankern
von Metallendoprothesen im Oberschenkel-
markraum.
Arch. orthop. Unfall-Chir., 67, 89-100, 1969
Die Verwendung unterkühlter Metallendoprothe-
sen in der Hüftchirurgie.
Z. Orthop., 107, 683-696, 1970
- SCHEUBA, G. Osteosynthese pathologischer Frakturen mit
Palacos.
Zbl. Chir. 91, 464, 1966
Zur operativen Behandlung von Knochenmetastasen
in Gelenknähe mit Palacos.
Wien. klin. Wschr. 80, 550-551, 1968
- WORINGER, E. Über die plastische Deckung von Schädel-
knochendefekten mit autopolymerisierender
Kunstharzmasse. Eine neue Schnellmethode.
Arch. Psych. Z. Neurol., 191, 100, 1953

Mein Dank gilt Priv. Doz. Dr. G. Glogowski für die Überlassung des Themas und seine Bereitschaft, mich bis zu seinem Tode am 2. August 1970 bei der Bewältigung der gestellten Aufgabe zu beraten.

Herrn Privatdozent Dr. M. Jäger danke ich für die Übernahme des Themas, Herrn Professor Dr. A. N. Witt für die Übernahme des Co-Referats.

Herrn Dr. C. Dietschi schulde ich Dank für die Beratung während der Niederschrift der vorliegenden Arbeit.

Dank auch den Herren Assistenten des Materialprüfungsamtes für Maschinenbau der TH - München, die mir die Durchführung meiner Versuche ermöglichten.

L E B E N S L A U F

Ich, Jürgen Macheleidt, wurde am 5.1.1941 in Berlin geboren. Meine Eltern sind der Amtmann der Landpolizei Ludwig Macheleidt und seine Ehefrau Franziska.

Von 1947 bis 1952 besuchte ich die Aloys-Fischer-Volksschule und bis 1959 die Ludwigs-Oberrealschule in München. Im Juni 1961 bestand ich an der Rupprecht-Oberrealschule in München das Abitur.

Im September 1964 schied ich nach dreijähriger Dienstzeit als Leutnant aus der Bundeswehr aus und nahm im Wintersemester 1964/65 das Studium der Zahnheilkunde an der Ludwigs-Maximilians-Universität in München auf.

Im Juli 1970 bestand ich das Staatsexamen.

Ich bin verheiratet und habe zwei Kinder.

Zur Zeit bin ich als Sanitätsoffizier in einer Zahnstation der Bundeswehr tätig.

